

B A B IV

ANALISIS DAYA DUKUNG FONDASI TIANG BOR TUNGGAL (STUDI KASUS)

4.1. Umum

Pada bab sebelumnya telah dibicarakan daya dukung dan penurunan tanah yang harus diperhatikan dalam perencanaan fondasi tiang. Daya dukung fondasi dapat dicari dengan rumus teoritis dan rumus empiris. Dari data penyelidikan lapangan "Cone Penetration Test" (CPT) dan "Standard Penetration Test" (SPT) akan dihitung kapasitas daya dukung dari fondasi tiang bor berdasarkan metoda-metoda perhitungan empiris yang telah dibicarakan di muka.

Hasil dari perhitungan tersebut, dibandingkan dengan beban rencana yang akan bekerja dan dievaluasi dengan analisis hasil pengujian pembebanan ("Loading Test") tipe tekan. Sebagai contoh analisis digunakan kasus pada Proyek komplek perkantoran Bank Indonesia pusat di Jakarta. Dari 5 titik bor dan 4 titik sondir yang masing-masing saling berdekatan (dapat dilihat pada peta lokasi titik sondir dan titik bor pada lampiran 1).

Pada grafik sondir, diagram SPT dan pengujian pembebanan pada proyek ini adalah memakai sistim Metrik, oleh karena itu dalam perhitungan tetap dipakai satuan asal.

4.2. Data Penyelidikan Tanah

Data tanah diambil dari data penyelidikan tanah pada proyek perkantoran Bank Indonesia pusat di Jalan MH. Thamrin

No 2 Jakarta Pusat. Pada areal ini dibangun gedung perkantoran yang terdiri dari 26 lantai dan 2 Basement. Luas bangunan keseluruhan $\pm 115.962 \text{ m}^2$ dengan luas tanah $\pm 2 \text{ Ha}$. Kondisi permukaan tanah relatif datar. Penyelidikan tanah dipercayakan kepada Lembaga Teknologi Fakultas Teknik Universitas Indonesia Jakarta yang dilakukan mulai tanggal 26 November 1989 sampai tanggal 29 Januari 1990.

4.2.1. Lingkup Pekerjaan Penyelidikan Tanah

a. Test permesabilitas

Dilakukan untuk mencari faktor koefisien permesabilitas tanah K_v (koefisien kecepatan rembesan tanah).

b. Bor dalam ("Deep Boring")

Dilakukan untuk mendapatkan contoh tanah asli ("Undisturb") dari lapangan serta mengklasifikasikan tanah secara visual di lapangan. Pekerjaan bor dilakukan pada 14 (empat belas) titik bor di lokasi sampai dengan kedalaman 60 meter dari permukaan tanah. Dari tiap lubang bor diambil contoh tanah asli dengan interval pengambilan 2 meter untuk keperluan test laboratorium.

c. "Standard Penetration Test" (SPT).

Pengujian SPT ini dilakukan bersama-sama dengan bor dalam pada interval 1,5 meter. Uji SPT dilakukan dengan menumbukkan Split Spoon Sampler ke dalam tanah dengan hammer seberat 63,5 kg tinggi jatuh 76 cm.

d. "Cone Penetration Test" (CPT).

Uji CPT dilakukan sebanyak 21 (dua puluh satu) titik sondir dengan menggunakan alat sondir berat 10 ton pada interval pembacaan 200 mm (20 cm). Penembusan ditentukan setelah ditemukan lapisan tanah keras dengan nilai konus $q_c \geq 300 \text{ kg/cm}^2$ atau sudah mencapai kedalaman 40 meter. Pada pengujian ini dipakai type bikonus, dengan tabung friksi dari Bogeman.

e. Pemeriksaan contoh tanah di laboratorium

Contoh tanah yang didapat pada waktu uji pemboran diperiksa di laboratorium untuk memperoleh parameter-parameter tanah yang akan dipakai untuk menghitung kapasitas dukung fondasi secara teoritis dan identifikasi tanah secara tepat.

4.3. Data Fondasi Tiang Bor

Pada proyek ini, melihat keadaan lokasi sekitarnya banyak terdapat bangunan bertingkat tinggi yang dipakai sebagai gedung perkantoran, maka dipakai jenis fondasi tiang bor, dimana dalam pelaksanaannya tidak banyak mengganggu, baik ditinjau dari kebisingan maupun getaran yang ditimbulkannya. Tiang bor yang digunakan berdiameter 100 cm dengan daya dukung izin 250 ton untuk setiap tiang. Mutu beton yang digunakan K-225, mutu baja U39 dengan kedalaman yang bervariasi antara 40 sampai dengan 45 meter dari muka tanah.



4.4. Muka Air Tanah

Berdasarkan penyelidikan lapangan sondir dan bor dalam, muka air tanah ("Ground water level") tertinggi -0,30 meter dari permukaan tanah, dan yang terdalam -1,50 meter dari muka tanah asli.

4.5. Data Loading Test

Tiang bor yang dipilih oleh Konsultan Pengawas dan Perencana dibebani dengan beban maksimum $2 \times 250 \text{ ton} = 500 \text{ ton}$. Pembebanan dilakukan dengan sistim beban kontra yang terdiri dari blok-blok beton. Pembebanan pada ujung tiang dilakukan dengan perantaraan tekanan "hydraulic jack" mengikuti Standard ASTM D-1143 "Cyclic Load" (pembebanan siklus). Adapun hasil pengamatan secara ringkas sebagai berikut:

1. Total settlement = 11,7263 mm
(Pembebanan 200 % = 500 ton)
2. Net settlement = 2,8473 mm
(Pembebanan 0 % = 0 ton)
3. Rebounding (1 - 2) = 8,8790 mm

Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat catatan hasil uji pembebanan pada lampiran 13.

4.6. Tahanan Kulit Tiang dan Kedalaman dengan Metoda Prediksi dari Data SPT dan CPT

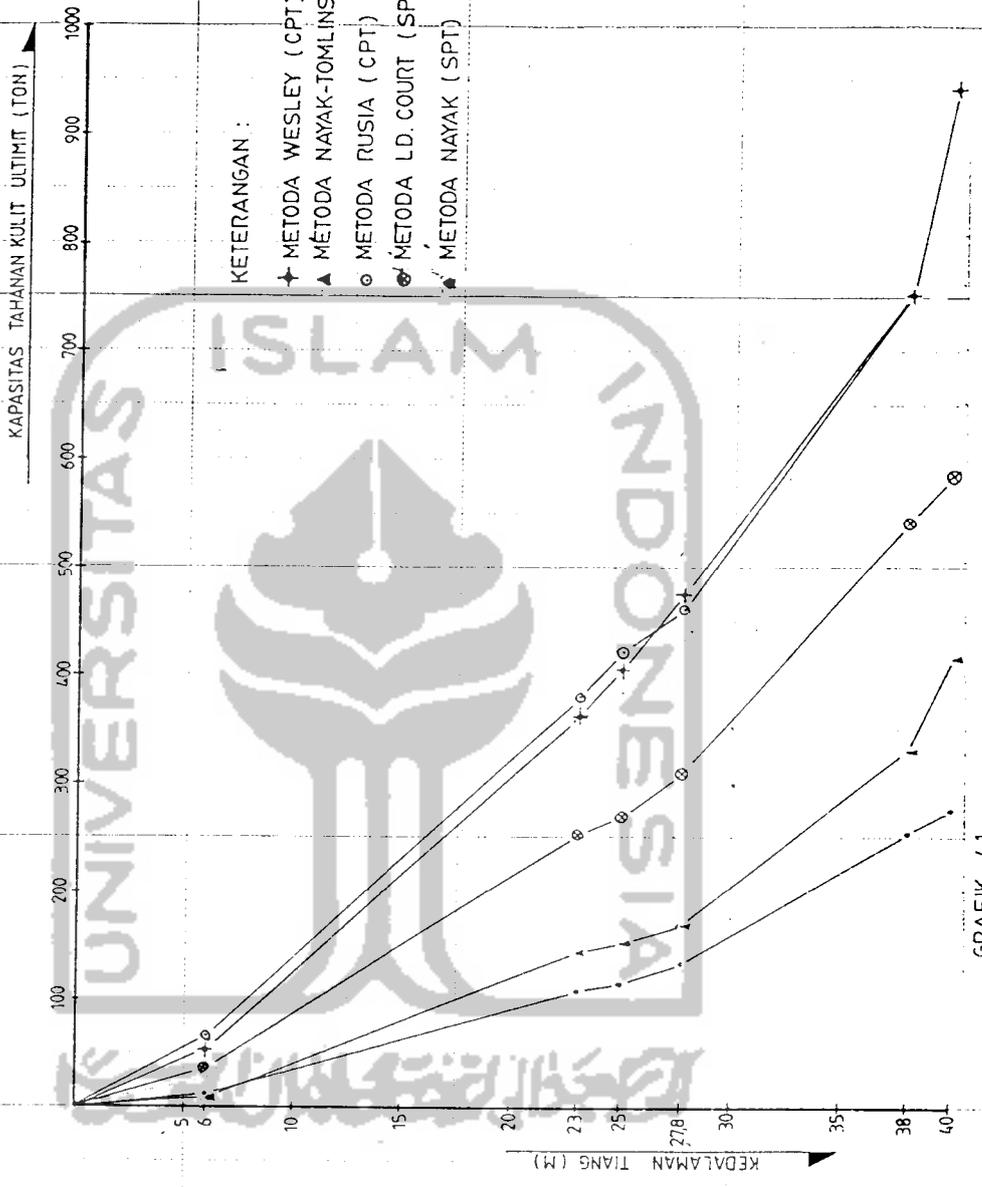
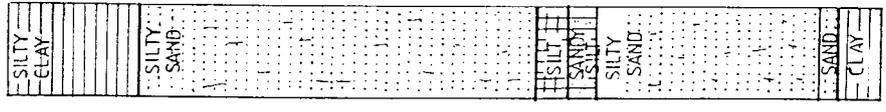
Dalam pondasi tiang dikenal dua perilaku transfer gaya aksial tiang pondasi terhadap tanah pendukungnya. Melalui tahanan gesek sepanjang permukaan kulit tiang dan transfer

tahanan tumpuan melalui ujung tiang. Tahanan total yang dapat ditahan tanah terhadap beban yang bekerja pada pondasi tiang tersebut adalah jumlah dari tahanan kulit tiang dan tahanan ujung tiang.

Metoda prediksi kulit dengan data grafis sondir dapat dilihat pada persamaan 3.8 sampai dengan persamaan 3.13, mengambil tiga parameter yang berbeda dari grafik sondir. Nayak mengambil nilai rata-rata sepanjang tiang (\bar{q}_c) dan dibagi dengan nilai 200 untuk memprediksikan nilai tahanan gesek tanah sepanjang tiang. Metoda Rusia mengambil nilai gesek lokal rata-rata (f_s) untuk prediksi tahanan gesek tanah sepanjang tiang dan Wesley mengambil nilai friksi total (F_t) sedalam tiang sebagai prediksi tahanan gesek tanah.

Sedangkan prediksi tahanan kulit dari data SPT, LD Court mengambil nilai N pukulan rata-rata sepanjang tiang dibagi tiga, kemudian ditambah satu untuk pendekatan empiris tahanan gesek tanah sepanjang tiang (dapat dilihat pada persamaan 3.16 sampai dengan 3.19) dan Nayak memberikan nilai empiris tahanan gesek tanah sepanjang tiang dengan nilai N rata-rata sepanjang tiang dibagi lima. Dengan mengambil prediksi tahanan kulitnya saja yang dihitung dengan persamaan 3.8 sampai dengan 3.19, hasil hitungan dapat dilihat pada grafik 4.1, 4.2, dan 4.3 di bawah ini. Ketiga grafik tersebut adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara nilai prediksi tahanan kulit ultimit sepanjang tiang dan kedalaman tiang.

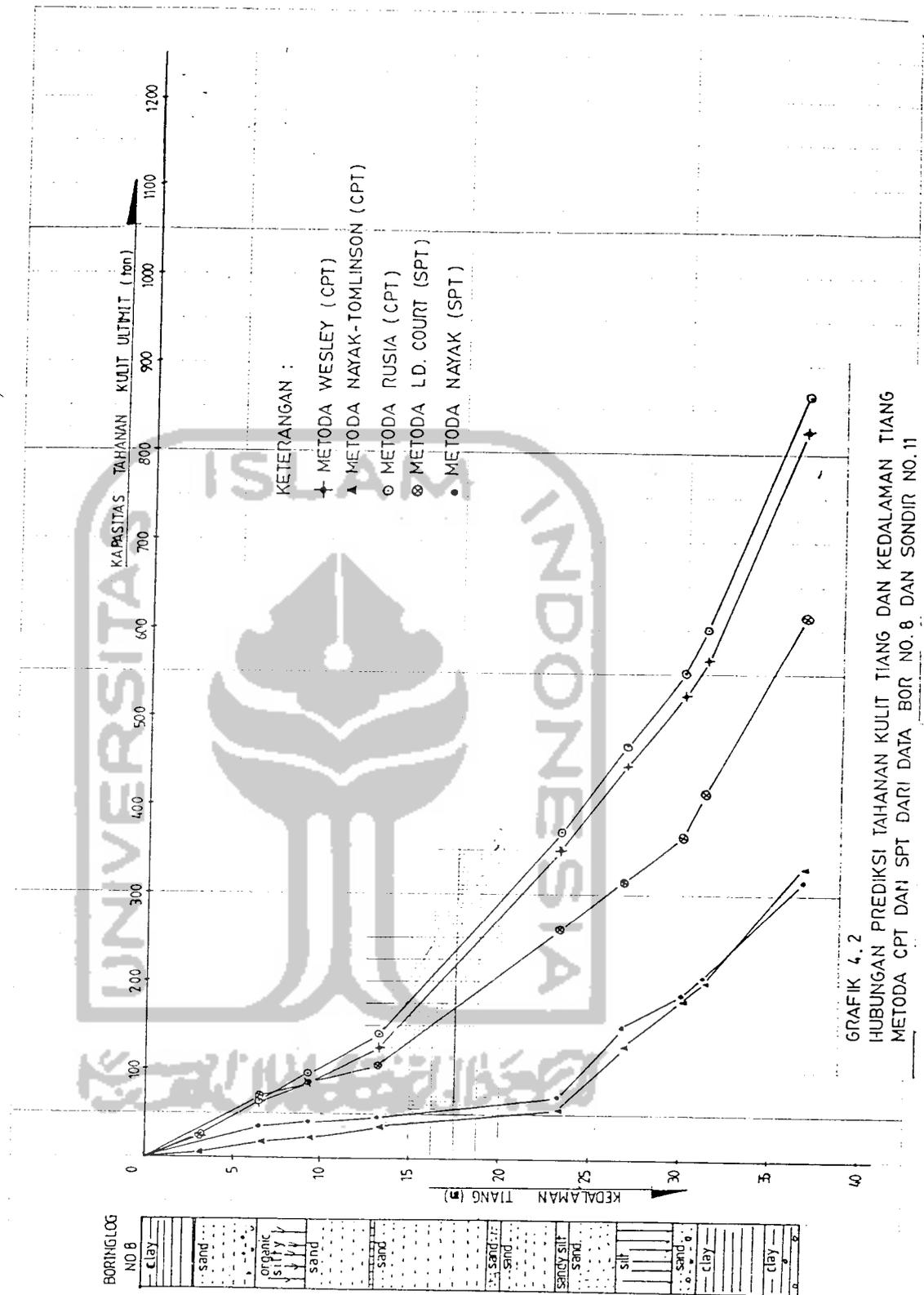
BOHRING LOG
NO. 1



GRAFIK 4.1
HUBUNGAN PREDIKSI TAHANAN KULIT TIANG DAN KEDALAMAN TIANG.
METODA CPT DAN SPT DARI DATA BOR NO. 1 DAN SONDIR NO. 1

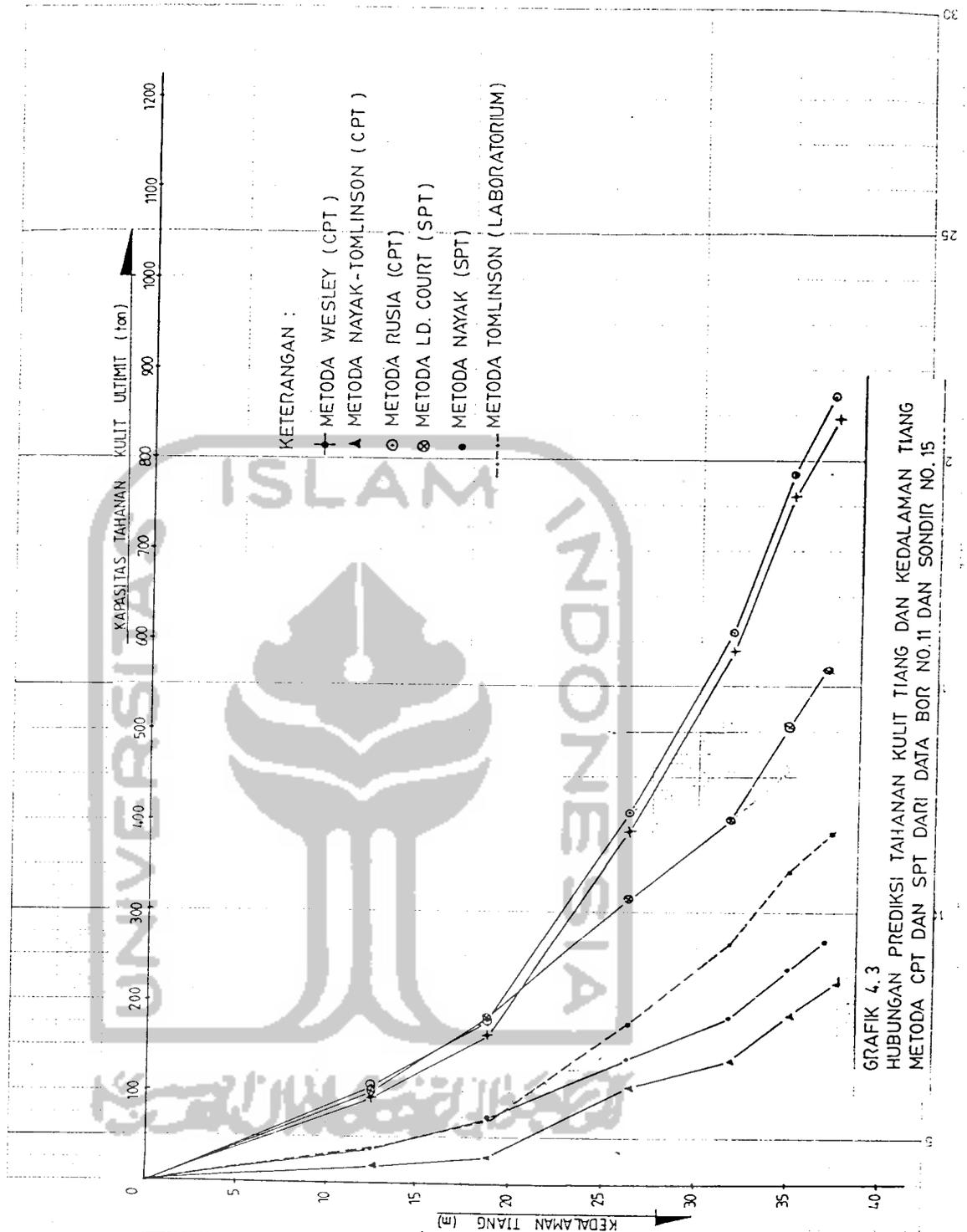
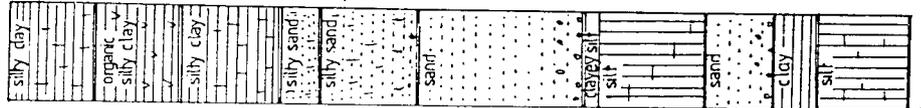
Dari grafik 4.1. terlihat bahwa kurva metoda prediksi data CPT Wesley dan Rusia mulai dari permukaan tanah sampai kedalaman 26,5 m menunjukkan bahwa prediksi metoda Rusia lebih besar. Perbedaan prediksi yang terjadi 5,55 %. Dari kedalaman 26,5 m sampai 40 m perbedaan prediksi semakin kecil bahkan dari kedalaman 38 m sampai 40 m kurva berimpit. Kurva metoda prediksi data CPT NV. Nayak-Tomlinson memperlihatkan bahwa daya dukung yang dihasilkan jauh lebih kecil dibanding dengan metoda Wesley dan Rusia. Pada metoda Wesley dan Rusia kecilnya perbedaan prediksi tersebut disebabkan penggunaan rumus dukungan kulit (q_s) mengambil nilai dari rata-rata jumlah hambatan pelekat total dan jumlah hambatan lokal. Sedangkan pada metoda NV. Nayak-Tomlinson penggunaan rumus dukungan kulit mengambil nilai rata-rata hambatan ujung (q_c).

Untuk metoda dari data SPT, kurva metoda L Décourt dari permukaan tanah sampai kedalaman 40 m menunjukkan hasil prediksi daya dukung yang lebih besar dibanding dengan metoda prediksi NV. Nayak. Kedua metoda SPT tersebut mengambil N rata-rata sebagai data untuk memprediksikan daya dukung kulit (q_s). Perbedaan yang terjadi disebabkan karena pengambilan angka pembagi yang berlainan. Bila mengamati hasil dari metoda CPT No. 1 dan SPT No. 1 tersebut dapat dikatakan bahwa metoda Wesley dan Rusia memberikan prediksi yang optimis, sedangkan metoda NV. Nayak memberikan prediksi yang konservatif.



Dari grafik 4.2. tampak kurva dari LD. Court, Wesley dan Rusia sampai dengan kedalaman 13,05 m menggambarkan prediksi yang tidak terlalu berbeda, bahkan untuk prediksi Wesley dan Rusia hampir berimpit pada kedalaman 6,4 m dan prediksi LD. Court dan Wesley hampir berimpit pada kedalaman 9,3 m. Prediksi LD. Court, Wesley dan Rusia seolah membentuk suatu kelompok kurva sampai kedalaman 13,05 m. Dari kedalaman 13,05 m sampai 37 m kurva LD. Court terpisah, hanya kurva Wesley dan Rusia yang tetap saling berdekatan dengan letak kurva Rusia konsisten berada di atas Wesley dengan perbedaan prediksi terbesar sampai kedalaman 37 m sekitar 5 %. Sedangkan kurva LD. Court dengan Rusia berbeda sekitar 30 %. Untuk kurva NV. Nayak (SPT) dan kurva Nayak Tomlinson sampai kedalaman 30 m, Kurva NV. Nayak (SPT) berada di atas Nayak-Tomlinson. Tetapi pada kedalaman 33 m kurva Nayak-Tomlinson berada di atas Nayak (SPT). Dari grafik 4.2. tampak kedua kurva Nayak (SPT) dan Nayak (CPT) masing-masing memprediksikan tahanan kulit yang terkecil dibanding dengan metoda Wesley, Rusia dan LD. Court.

BORING LOG
NO 11



GRAFIK 4.3
HUBUNGAN PREDIKSI TAHANAN KULIT TIANG DAN KEDALAMAN TIANG
METODA CPT DAN SPT DARI DATA BOR NO.11 DAN SONDIR NO.15

Dari grafik 4.3. tampak kurva prediksi Court, Wesley dan Ruisa saling berdekatan menunjukkan nilai prediksi yang tidak terlalu jauh berbeda dan seolah-olah membentuk kelompok kurva sampai kedalaman 18,9 m. Kemudian kurva Court turun dan berada di bawah kurva Wesley dan Rusia. Sampai kedalaman 37 m hanya kurva Rusia dan Wesley tetap saling berdekatan dan kurva Rusia tetap berada di atas kurva Wesley. Adapun untuk kurva Nayak-Tomlinson (CPT) dan Nayak (SPT) keduanya berada di bawah kurva Wesley, Court dan Rusia. Untuk bor 11 dan sondir 15 dari kelima kurva prediksi, ternyata prediksi Nayak-Tomlinson memberikan hasil yang terkecil. Untuk lebih jelasnya pada halaman berikutnya diberikan tabel 4.1 prediksi tahanan kulit dengan prosentase beda prediksi dari grafik 4.1. dibandingkan dengan prediksi metoda teoritis yang memakai parameter-parameter tanah dari data laboratorium oleh formula Tomlinson (lihat persamaan 3.5 sampai dengan 3.7 dan perhitungan pada lampiran 12). Apabila hasil prediksi daya dukung NV. Nayak-Tomlinson dibandingkan dengan prediksi teoritis data dari laboratorium dari Tomlinson(perhitungan lihat lampiran 12) kurva Nayak (SPT) berada cukup dekat sampai kedalaman 18,9 m dan selanjutnya sampai kedalaman 37 kurva Nayak (SPT) berada di bawah kurva prediksi laboratorium.

Dari tabel prediksi kulit ultimit, kalau dibandingkan kelima prediksi empiris dengan prediksi dari rumus statis data laboratorium, adalah metoda prediksi kulit NV. Nayak yang paling dekat untuk kasus ini, beda prediksi antara -31% sampai dengan +4,162%.

TABEL 4.1

PREDIKSI TAHANAN KULIT ULTIMIT DARI DATA CPT NO.15 DAN SPT NO.11

KEDA-LAMAN (#)	DARI DATA LAB. TOMLINSON	METODA CPT						METODA SPT			
		NAYAK-TOMLINSON		WESLEY		RUSIA		NAYAK		LO. COURT	
		Result(T)	BEDA %	Result(T)	BEDA %	Result(T)	BEDA %	Result(T)	BEDA %	Result(T)	BEDA %
12.7	39,0862	16,4899	-57,810	94,2396	141,107	105,5308	169,995	37,2250	-4,761	101,9799	160,910
18.9	71,2663	29,7806	-58,212	163,3471	129,206	180,1895	152,839	74,2329	4,162	183,1442	156,985
26.4	178,6318	105,4227	-40,983	369,5412	118,069	410,6548	129,888	638,7612	-22,319	315,5017	76,621
31.9	264,9730	137,7393	-48,017	590,6028	112,891	612,3877	131,113	182,8220	-31,003	404,9532	52,828
35	346,0446	189,9577	-45,280	760,2453	119,699	785,0983	126,873	239,3078	-30,845	508,8384	47,043
37	369,5183	221,2743	-43,192	848,2099	117,758	874,1952	124,429	268,8387	-30,981	564,3378	44,880

Dari grafik 4.1, 4.2, dan 4.3 tersebut dapat diketahui masing-masing prediksi membentuk suatu kurva lengkung yang menunjukkan semakin dalam pondasi semakin bertambah daya dukungnys. Hal itu dapat dimengerti bshwa semakin dalam tiang, tentunya akan semakin luas permukaan bidang gesek tiang dengan tanah. Tetapi dari ketiga kurva prediksi pada grafik tersebut, tak satupun dari kurva itu yang memberikan perbedaan tahanan kulit yang konsisten antara satu kurva dengan kurva yang lainnya.

Untuk kurva metoda prediksi tahanan kulit dengan data CPT dan dengan tanpa melihat nilai SF (safety faktor) dapat dikatakan metoda dari Nayak-Tomlinson yang paling konservatif dalam memprediksi dan over optimist untuk metoda Rusia. Sedangkan prediksi paling kecil dari data SPT adalah metoda dari Nayak. Dari grafik 4.1, 4.2, dan 4.3 dapat dilihat kurva Rusia dan kurva Wesley saja yang tetap saling berdekatan.

4.7. Daya Dukung Ujung Tiang Metoda Prediksi dari Data SPT dan CPT

Daya dukung ujung tiang tidak selalu akan bertambah besar untuk setiap penambahan kedalaman tiang. Hal ini akan terlihat dari grafik sondir, dimana nilai perlawanan tanah untuk setiap penambahan kedalaman tidak selalu memberikan indikasi penambahan nilai perlawanan tanah. Begitu pula dari diagram N SPT, jumlah N pukulan tidak selalu bertambah banyak untuk setiap penambahan kedalaman. Tentunya keadaan ini berlaku pula untuk daya dukung ujung tiangnya. Ketiga

metoda prediksi dukung ujung dari data CPT, memberikan nilai dukung ujung sama dengan nilai rata-rata perlawanan tanah terhadap konus (\bar{q}_c) sekitar ujung tiang dikalikan dengan luas potongan melintang ujung tiangnya. Perbedaan yang ada, hanya pertimbangan pengambilan rata-rata nilai \bar{q}_c di sekitar ujung tiang. Metoda Rusia, Tomlinson-Nayak mempertimbangkan nilai \bar{q}_c setebal 3D di atas ujung tiang dan 1D dibawah ujung tiang. Wesley mempertimbangkan rata-rata nilai \bar{q}_c sekitar ujung tiang masing-masing setebal 4D di atas ujung tiang dan 4D di bawah ujung tiang, dapat dilihat pada persamaan 3.8 sampai dengan 3.13, sedangkan untuk prediksi dari data SPT LD Court membedakan nilai setiap dukung ujung tiap jenis lapisan tanah dengan nilai empiris K dapat dilihat pada tabel 3.1, kemudian dikalikan dengan nilai rata-rata N SPT sekitar ujung tiang sampai dengan 3 nilai N di atas ujung tiang. Nayak memprediksikan nilai dukung ujung $40N$ rata sekitar ujung tiang sampai 2D di bawah ujung tiang. Pada halaman berikutnya diberikan tabel 4.2 beda prediksi daya dukung tanah pada ujung tiang (unit base resistance) dari metoda-metoda data SPT dan CPT, dibandingkan dengan prediksi daya dukung tanah pada ujung tiang dari data Laboratorium dengan memakai persamaan 3.3 dan 3.5 dari Tomlinson. (dapat dilihat pada lampiran 11 dan lampiran 12).

Dari keempat metoda prediksi empiris daya dukung tanah pada ujung tiang (unit base resistance), dapat dilihat pada tabel 4.2, untuk jenis tanah pasir (sand) rata-rata prediksi empiris memberikan nilai perbedaan minus dengan nilai beda prediksi sekitar -48,65% sampai -78,26%.

TABEL 4.2

DAYA DUKUNG UJUNG ULTIMIT TIANG BOR DARI DATA CPT No. 15 DAN SPT No. 11

KEDAR- LAMAM (m)	DARI DATA LAB.		METODA CPT				METODA SPT				VISUAL SOIL KLASIFIKATION (BOR No.11)
	TOMLINSON	UNIT BASE RE- SISTENCE(kg/cm2)	RUSIA-MAYAK- TOMLINSON		WESLEY		L.D. COURT		NAYAK		
			QC(Kg/cm2)	BEDA %	QC(kg/cm2)	BEDA %	N.K(kg/cm2)	BEDA %	40N(kg/cm2)	BEDA %	
10	2,763		7,166	159,36	10,000	261,92	9,333	237,78	28,000	913,99	SILTY CLAY
16	4,584		14,569	217,82	20,750	352,66	20,000	336,30	50,999	1012,54	SILTY SAND
22	131,647		59,098	-55,11	56,655	-56,96	37,999	-71,13	45,999	-65,05	SAND
25	149,571		76,810	-48,65	52,770	-64,72	51,999	-65,23	64,000	-57,21	SAND
28	18,338		47,565	159,37	49,610	170,53	23,666	29,05	55,000	199,92	SILT
33	322,675		69,990	-75,46	76,580	-76,26	75,333	-76,65	105,000	-67,46	SAND
36	13,837		112,000	709,42	118,710	757,92	27,200	96,57	109,000	687,74	CLAY
39	52,850		143,315	171,17	*	*	55,666	5,32	124,000	134,63	CLAYEY SILT
45	510,473		*	*	*	*	117,999	-76,88	111,000	-78,26	SAND

4.8. Prediksi Daya Dukung Total Ijin dan Kedalaman Tiang yang Diperlukan dari Data Grafik Sondir

Dari data penyelidikan tanah grafik sondir dapat diketahui besar dari tahanan perlawanan tanah dan dari diagram N SPT dapat dilihat jumlah N pukulan untuk memperkirakan kekerasan tanah. Hubungan nilai N SPT, q_c dan perkiraan dari kekerasan tanah dapat dilihat pada tabel 2.1 dan tabel 2.2.

Tomlinson, Nayak dan Davis memberikan nilai batas untuk daya dukung tahanan gesek tanah dan tahanan dukung tanah pada ujung tiang pondasi. Pada instalasi tiang bor akan menimbulkan efek pelunakan sekeliling lubang dan pada dasar lubang bor, sehingga nilai-nilai parameter yang didapat sebelumnya dari penyelidikan tanah akan berubah setelah dilakukan instalasi tiang. Dengan pertimbangan itu, Tomlinson, Nayak dan Davis untuk prediksi daya dukung tiang perencanaan diberikan nilai batas kurang atau sama dengan 1 ton/ft^2 ($\leq 1,076 \text{ kg/cm}^2$) untuk tahanan gesek tanah, dan nilai daya dukung tanah terhadap ujung tiang untuk perencanaan tidak boleh melebihi 100 ton/ft^2 ($\leq 107,639 \text{ kg/cm}^2$).

a. Data Pengujian Sondir pada Titik No.13

Grafik sondir No.13 dapat dilihat pada lampiran No.3 kedalaman pengujian sampai dengan kedalaman 40 m di bawah muka tanah. Nilai konus terendah $< 10 \text{ kg/cm}^2$ dan terbesar sekitar 360 kg/cm^2 . Tanah keras dijumpai mulai kedalaman antara 34 m sampai 35 m di bawah muka tanah. Friksi total sampai 40 m di bawah muka tanah sebesar 5250

kg/cm. Pada kasus Proyek Bank Indonesia ini, dibuat basemen sampai pada elevasi -8,2 m dengan tebal pile cap 3,5 m, untuk itu tiang diperhitungkan mulai kedalaman -12 m dari muka tanah asli.

1) Metoda Wesley

Tanah keras yang cukup tebal dijumpai mulai sekitar kedalaman 34 m di bawah muka tanah. Pada kasus ini tiang dibuat sampai kedalaman 36 m di bawah muka tanah sehingga bisa memenuhi kriteria ketebalan 4D di atas ujung tiang dan 4D di bawah ujung tiang dari metoda Wesley, dan diharapkan ketebalan tanah keras setebal 4D di bawah ujung tiang akan mampu mendukung beban yang ditransfer ujung tiang. Metoda Wesley dapat dilihat pada persamaan 3.8 dan 3.9.

$$Q = Q_p + Q_s$$

$$\bar{Q} = \frac{P A}{SF_1} + \frac{f \sigma}{SF_2}$$

Dari grafik sondir diperoleh ;

Q rata-rata 4D di atas ujung tiang sampai 4D di bawah ujung tiang (P)

$$P = \frac{30+40+30+80+230+280+350+360+360+350+315}{11}$$

$$= 220,454 \text{ kg/cm}^2$$

Friksi total sampai kedalaman 36 m (ujung tiang) $f_t = 3040 \text{ kg/cm}$.

Friksi total sampai kedalaman -12 m (cut of level)
 $= 400 \text{ kg}$.

$$\begin{aligned}\bar{Q} &= \frac{P A}{SF_1} + \frac{f o}{SF_2} \\ &= \frac{845,395}{5} + \frac{811,285}{10} \\ &= 250,207 \text{ ton} \\ \bar{Q} &\geq Q_{rencana} = 250 \text{ ton.}\end{aligned}$$

2) Metoda Rusia

$$Q_{up} = Q_c A + U D f_s$$

$$Q_{sp} = Q_{up}/3$$

Dapat dilihat pada persamaan 3.12 dan 3.13. Dengan kasus yang sama diambil panjang tiang 24 m, dari grafik sondir diperoleh:

Nilai rata-rata pada tanah keras setebal 3D di atas ujung tiang pondasi dan 1D di bawah ujung tiang pondasi

$$Q_c = \frac{40+30+80+230+280+350+360+360}{8} = 216,250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Luas potongan melintang ujung pondasi } A = 7853,982 \text{ cm}^2$$

Daya dukung ujung tiang ultimit

$$\begin{aligned}Q_c \cdot A &= 216,250 \cdot 7853,982 \\ &= 1698,424 \text{ ton}\end{aligned}$$

Periksa dukung ujung tiang dengan nilai prediksi rencana ultimit dukung ujung dari Tomlinson, Nayak dan Davis

$$Q_{batas} = 845,359 \text{ ton}$$

$$Q_c \cdot A > 845,359 \text{ ton}$$

Diambil dukung ujung = $Q_{batas} = 845,359 \text{ ton}$.

$$\text{Keliling tiang pondasi } U = 2 \cdot \pi \cdot r = 314,159 \text{ cm}$$

Nilai gesek lokal rata-rata sepanjang tiang dari grafik diperoleh (f_s):

$$\begin{aligned}\bar{Q} &= \frac{P A}{SF_1} + \frac{f o}{SF_2} \\ &= \frac{845,395}{5} + \frac{811,285}{10} \\ &= 250,207 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\bar{Q} \geq Q_{rencana} = 250 \text{ ton.}$$

2) Metoda Rusia

$$Q_{up} = Q_c A + U D f_s$$

$$Q_{ap} = Q_{up}/3$$

Dapat dilihat pada persamaan 3.12 dan 3.13. Dengan kasus yang sama diambil panjang tiang 24 m, dari grafik sondir diperoleh:

Nilai rata-rata pada tanah keras setebal 30 di atas ujung tiang pondasi dan 10 di bawah ujung tiang pondasi

$$Q_c = \frac{40+30+80+230+280+350+360+360}{8} = 216,250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Luas potongan melintang ujung pondasi } A = 7853,982 \text{ cm}^2$$

Daya dukung ujung tiang ultimit

$$\begin{aligned}Q_c \cdot A &= 216,250 \cdot 7853,982 \\ &= 1698,424 \text{ ton}\end{aligned}$$

Periksa dukung ujung tiang dengan nilai prediksi rencana ultimit dukung ujung dari Tomlinson, Nayak dan Davis

$$Q_{batas} = 845,359 \text{ ton}$$

$$Q_c \cdot A > 845,359 \text{ ton}$$

$$\text{Diambil dukung ujung} = Q_{batas} = 845,359 \text{ ton.}$$

$$\text{Keliling tiang pondasi } U = 2 \cdot \pi \cdot r = 314,159 \text{ cm}$$

Nilai gesek lokal rata-rata sepanjang tiang dari grafik diperoleh (f_s):

$$f_s = (0,2+0,2+0,6+0,4+0,3+0,3+0,4+0,3+0,8+0,3+0,4+0,7+1 + 1,6+0,6+1,2+1+1,5+0,7+1+1,4+0,6+2,2+0,7+1,6+0,7+1 + 0,3+1+1,6+1,4+1,6+0,8+1,4+0,9+1+1,4+1,8+0,6+0,2+0,5 +0,4+0,5 +1,3+0,3+0,5+1+1+0,6+1+0,3+0,8+1,6+0,8+1,4 +2,5+4+3,2+5)/58 = 1,075 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Daya dukung kulit tiang} &= U \cdot D \cdot f_s \\ &= 314,159 \cdot 24 \cdot 100 \cdot 1,075 \\ &= 810530,220 \text{ kg} \\ &= 810,530 \text{ ton} \end{aligned}$$

Periksa dengan nilai batas tahanan kulit dari Tomlinson, Nayak dan Davis 810,530 Ton < Q_{sbatas} = 811,285 Ton.

$$\begin{aligned} Q_{up} &= Q_c \cdot A + U \cdot D \cdot f_s \\ &= 845,395 + 810,530 \\ &= 1655,925 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$Q_{ap} = 1655,925/4 = 413,981 \text{ ton} > Q_{rencana} = 250 \text{ ton}$$

3) Metoda NV Nayak - Tomlinson

$$Q_{up} = ckd \cdot A_p + \frac{cdk}{200} \cdot A_s$$

$$Q_{ap} = Q_{up}/3$$

Dapat dilihat pada persamaan 3.10 dan 3.11

Grafik No. 13, diambil kedalaman tiang sampai 36 m di bawah muka tanah. Dari grafik sondir No. 13 diperoleh nilai rata-rata konus sepanjang tiang

$$\begin{aligned} cdk &= (8+14+8+10+24+14+16+55+68+38+40+35+60+55+60+170+40+ 30+40+120+44+38+24+18+36+20+30+60+60+50+30+38+30+80+ 230+280+350+360+360)/39 = 78,025 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Luas penampang melintang ujung tiang dengan diamete 1 m

$$A_p = 1/4 \cdot \pi \cdot 100^2 = 7853,982 \text{ cm}^2$$

Luas selimut tiang ϕ 1 m sepanjang 24 m

$$A_s = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l$$

$$= 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 24 \cdot 100 = 753982,2369 \text{ cm}^2 = 75,398 \text{ m}^2$$

$$\text{Tahanan kulit tiang} = \frac{cdk}{200} A_s \text{ (kN)}$$

$$= \frac{78,025 \cdot 9,807}{200 \cdot (1/100)^2 \cdot 1000} \cdot 75,398 \text{ m}^2$$

$$= 2260,173 \text{ kN}$$

$$= 230,465 \text{ ton}$$

Periksa tahanan kulit dengan nilai tahanan kulit dari Tomlinson, Nayak dan Davis untuk ϕ 1 m dengan panjang tiang 24 m $Q_{\text{batas}} = 811,285 \text{ ton}$

$$230,465 \text{ T} < Q_{\text{batas}} = 811,285 \text{ ton}$$

Pediksi dukung ujung ultimit dari Nayak-Tomlinson sama dengan prediksi dukung ujung ultimit dari metoda Rusia.

Pada metoda Rusia daya dukung ujung = 845,395 Ton.

$$Q_{\text{up}} = 845,395 + 230,465$$

$$= 1075,860 \text{ ton}$$

$$Q_{\text{ap}} = \frac{1075,860}{3} = 358,620 \text{ Ton} > Q_{\text{rencana}} = 250 \text{ Ton.}$$

Tabel prediksi daya dukung (Ton) metoda CPT untuk data sondir No. 13

Kedalaman (m)	ijin total Nayak-Tomlinson	ijin total Rusia	ijin total Wesley
36	358,620	413,981	250,207

Untuk titik-titik sondir yang lainnya dengan cara pengambilan data dan perhitungan yang sama SPT pada

perhitungan prediksi daya dukung CPT No. 13 diberikan dalam bentuk pada tabel di bawah ini

Tabel prediksi daya dukung tiang untuk data CPT No. 15 dalam ton

Prediksi kedalaman (m)	Nayak-Tomlinson			R u s i a		
	Qsu	Qbu	Qt ijin	Qsu	Qbu	Qt ijin
36	205,095	845,395	350,163	811,285	845,395	414,170
39	240,532	845,395	361,976	912,695	845,395	439,523

Prediksi kedalaman (m)	W e s l e y			Daya Dukung Rencana 250 Ton
	Qsu	Qbu	Qt ijin	
36	716,283	845,395	240,707	Prediksi Wesley kurang dari daya dukung rencana

Sampsi dengan kedalaman 36 m, sondir No. 15 untuk prediksi daya dukung total ijin dari metoda Wesley kurang dari daya dukung total rencana 250 Ton. Untuk kedalaman selanjutnya setelah kedalaman 36 m, perhitungan tidak bisa memenuhi kriteria Wesley yang menghitung dukung ujung tiang dari nilai rata-rata konus (Q_c) sampai 4D di bawah ujung tiang. Nilai konus pada ujung tiang (Peak Value) hanya 80 kg/cm^2 . Dari metoda Nayak-Tomlinson dan Ruisia, akan lebih aman untuk menempatkan ujung tiang pada kedalaman 38 m dimana nilai konus pada puncak tiang sebesar 120 kg/cm^2 dan sampai 2D di bawah tiang memberikan indikasi pertambahan nilai konus.

Tabel prediksi daya dukung tiang untuk data CPT No. 11

Prediksi kedalaman (m)	Nayak-Tomlinson			R u s i a		
	Qsu	Qbu	Qt ijin	Qsu	Qbu	Qt ijin
36	210,257	845,395	351,884	811,285	845,395	414,170

Prediksi kedalaman (m)	W e s l e y		
	Qsu	Qbu	Qt ijin
36	811,285	845,645	250,257

Tabel prediksi daya dukung tiang untuk data CPT No. 1

Prediksi kedalaman (m)	Nayak-Tomlinson			R u s i a		
	Qsu	Qbu	Qt ijin	Qsu	Qbu	Qt ijin
36	279,067	708,858	329,308	653,703	706,858	340,140
39	319,384	845,359	383,260	729,101	845,395	393,624

Prediksi kedalaman (m)	W e s l e y		
	Qsu	Qbu	Qt ijin
36	672,301	845,395	236,309 < 250 T

Untuk grafik sondir No. 1, sampai kedalaman 36 m metoda Wesley memprediksikan daya dukung total ijin kurang dari 250 Ton. Nilai konus ujung tiang fondasi < 100 kg/cm². Dengan metoda Nayak-Tomlinson dan metoda Rusia dihitung sampai kedalaman 28 m di bawah muka tanah, nilai konus di ujung fondasi 180 kg/cm². Variasi nilai konus terkecil di bawah ujung tiang 140 kg/cm².

Dari perhitungan diatas, ada 2 titik sondir yang tidak memenuhi daya dukung rencana jika dihitung dengan metoda prediksi dari Wesley, yaitu pada sondir 15 dan sondir no 1. Prediksi ijin dari Wesley untuk tanah lempung konservatif dibanding dengan prediksi Nayak-Tomlinson dan metoda Rusia, dimana pencapaian nilai konus rata-rata pada ujung tiang $\geq 107,639$ kg/cm (nilai batas ujung), metoda Wesley untuk tanah non pasir dengan $SF_1 = 5$ dan $SF_2 = 10$ masih memerlukan sumbangan tahanan kulit dengan friksi total (F_t) untuk ϕ 1m sebesar =

$$Q_{ijin} = \frac{Q_b}{5} + \frac{Q_s}{10}$$

$$\left(Q_{ijin} - \frac{Q_b}{5} \right) 10 = Q_s$$

$$\left(250 \cdot 10^3 - \frac{107,639 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 100^2}{5} \right) 10 = Q_s$$

dimana $Q_s = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot F_t$

maka di dapat $F_t = 2575,797$ Kg/cm

Sedangkan untuk prediksi ijin total dari Nayak, pencapaian nilai rata-rata pada ujung tiang $\geq 107,639$ kg/cm² daya dukung ijin rencana sebesar 250 ton akan terpenuhi hanya dengan tahanan ujungnya saja. Dengan menghilangkan tahanan kulit, untuk beban ijin rencana sebesar 250 ton dan $SF = 3$, diperlukan pencapaian nilai konus rata-rata sebagai berikut;

$$Q_c = \frac{250 \cdot 10^3 \cdot 3}{0,25 \cdot \pi \cdot 100^2} = 95,493 \text{ kg/cm}^2$$

4.9. Prediksi Daya Dukung Total Ijin Dari diagram SPT

"Standart Penetration Test" yang telah dibicarakan di muka, untuk prediksi daya dukung tiang diagram N SPT ini,

telah berkembang metoda empiris prediksi daya dukung tiang yang diusulkan oleh NV Nayak dan LD Court.

Untuk menghitung daya dukung dari nilai N SPT ini Terzaghi dan Pech mengusulkan nilai N koreksi pada tanah lanau dan pasir yang jenuh untuk nilai $N > 15$. Nilai N terkoreksi menjadi $N = 15 + 1/2 (N' - 15)$. Dimana N' adalah nilai N dari lapangan

a. Data diagram N SPT dari No. bor 1

Tiang dibuat sampai kedalaman 42 m di bawah muka tanah, Nilai N lapangan pada ujung tiang 50 dan di bawah ujung masih mempunyai nilai $N = 23$ dengan konsistensi pasir mampat (dense sand). Diagram N SPT No. 1 dapat dilihat pada lampiran 10.

Tabel 4.3 N terkoreksi dari bor 1

Kedalaman (m)	N' Lapangan	N koreksi
1,50	4	4
3,60	0	0
5,60	2	2
7,60	6	6
9,60	2	2
11,60	8	8
13,60	7	7
15,60	5	5
17,60	13	13
19,60	12	12
21,00	14	14
23,00	14	14
25,00	5	5
27,80	12	12
30,00	27	21
32,00	13	13
34,00	14	14
36,00	40	27,5
38,00	24	24
40,00	20	17,5
42,00	50	32,5
44,00	31	23

1. Metoda NV Nayak

$$Q_{up} = 40 N A_p + \frac{N A_s}{5} \quad (\text{lihat persamaan 3.14})$$

$$Q_{ap} = \frac{Q_{up}}{4} \quad (\text{lihat persamaan 3.15})$$

Kedalaman Tiang sampai kedalaman 42 m, kepala tiang di buat dari kedalaman -12 m, maka nilai rata-rata N dihitung mulai kedalaman -12 m dari muka tanah asli.

Dari tabel 4.3, didapat nilai \bar{N} rata-rata sepanjang tiang

$$\bar{N} = (8+7+5+13+12+14+14+5+12+21+13+14+27,5+24+17,5+32,5)/15 = 15,133$$

N rata-rata pada ujung tiang sampai 2D di bawah ujung tiang

$$N = \frac{23 + 32,5}{2} = 27,75$$

Luas penampang melintang ujung pondasi ϕ 1 m

$$A_p = 1/4 \pi 1^2 = 0,785$$

luas selimut tiang sampai 30 m tiang pondasi ϕ 1 m

$$A_s = 2 \pi 0,5 \cdot 30 = 94,248 \text{ m}^2$$

Dari persamaan 3.14

$$\begin{aligned} Q_{up} &= 40 \cdot N \cdot A_p + \frac{\bar{N} A_s}{5} \\ &= 40 \cdot 27,75 \cdot 0,7853 + \frac{15,133 \cdot 94,248}{5} \\ &= 1156,934 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Kontrol tahanan kulit dengan tahanan kulit batas

Q_s batas untuk ϕ 1m dengan panjang tiang 30 m didapat

$$Q_s \text{ batas} = 1,076 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 30 \cdot 100$$

$$= 1014106,109 \text{ kg}$$

$$= 1014,106 \text{ ton}$$

$$Q_s = 285,250 \text{ ton} < Q_s \text{ batas} = 1014,106 \text{ ton.}$$

Dari persamaan 3.15

$$Q_{ap} = \frac{Q_{up}}{4} = \frac{1156,934}{4} = 289,233 \text{ Ton}$$

2. Metoda LD Court

$$Q_u = Q_s + Q_p$$

$$Q_p = \bar{N}_p \cdot k \cdot A_p$$

$$\bar{N} = \frac{\sum N}{3}$$

$$Q_s = f_s \cdot p \cdot l$$

$$f_s = \frac{\bar{N}}{3} + 1 \text{ (lihat persamaan 3.17)}$$

$$Q_{ap} = \frac{Q_u}{3}$$

Untuk kasus yang sama dibuat tiang sampai dengan kedalaman 42 m. Dari tabel IV.1 dan diagram N SPT No. 1 didapat:

Nilai rata-rata di ujung tiang sampai 3N di atas ujung tiang $\bar{N} = \frac{32,5 + 17,5 + 19,5}{3} = 23,167$

Luas penampang melintang untuk tiang pondasi ϕ 1 m

$$A_p = 1/4 \pi 1^2 = 0,7853 \text{ m}^2$$

Dari bor log No 1, lapisan tanah pada dasar pondasi pasir (sand stone), dari tabel 3.1 diperoleh nilai $k = 40 \text{ T/m}^2$.

Dari persamaan 3.16

$$Q_p = \bar{N}_p \cdot k \cdot A_p$$

$$= 23,167 \cdot 40 \cdot 0,7853 = 724 \cdot 444 \text{ Ton}$$

Keliling tiang untuk tiang pondasi ϕ 1 m

$$p = 2 \pi r = 2 \pi 0,5 = 3,142 \text{ m}$$

Panjang tiang $l = 30 \text{ m}$

N rata-rata sepanjang tiang

$$\bar{N} = (8+7+5+13+12+14+14+5+12+21+13+14+27,5+24+17,5 + 32,5)/15 = 15,133$$

Dari persamaan 3.17

$$f_s = \frac{\bar{N}}{3} + 1 = \frac{15,133}{3} + 1 = 6,051$$

$$Q_s = f_s p l = 4,952 \cdot 3,142 \cdot 30 = 570,367 \text{ Ton}$$

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 724,444 + 570,367$$

$$= 1294,811 \text{ Ton.}$$

$$Q_{ap} = \frac{Q_u}{3} = \frac{1294,811}{3} = 431,604 \text{ Ton.}$$

$$Q_{ap} > Q_{rencana} = 250 \text{ Ton.}$$

Kedalaman (m)	LD Court (T)			NV Nayak (T)		
	Qsu	Qbu	Qijin	Qsu	Qbu	Qijin
42	570,367	724,444	431,604	285,251	671,350	289,233

Untuk nomor-nomor bor lain, dengan cara pengambilan data dan perhitungan yang sama diberikan daya dukung ijin pada tabel prediksi di bawah ini

NO Bor	D (m)	LD Court (T)			NV Nayak (T)		
		Qsu	Qbu	Qijin	Qsu	Qbu	Qijin
10	45	681,071	379,609	353,560	346,439	845,395	297,959
8	40	598,159	400,553	332,904	306,117	801,106	276,806
7	43	680,250	845,395	508,548	349,716	816,814	291,632

4.10. Evaluasi pengujian pembebanan ("Loading Test")

Pada kasus Proyek Bank Indonesia ini pengujian pembebanan yang dilakukan adalah cara penambahan beban berulang ("Cyclic"), yaitu pembebanan yang dilakukan dengan penambahan beban dan pengurangan beban secara bertahap. Pada saat akhir penambahan pembebanan dicatat penurunan yang terjadi dan saat akhir pengurangan pembebanan dicatat loncatan elastik tiang yang terjadi. Berdasarkan hitungan dari hasil penyelidikan tanah oleh Perencana ditetapkan beban yang akan bekerja adalah 250 ton untuk tiap tiang. Ketentuan yang disyaratkan menghendaki adanya beban uji minimal yang harus dipenuhi adalah 200% beban rencana. Pembebanan sebagai berikut:

Beban kerja = 250 ton

Beban uji 200% = 500 ton

Hasil pengujian digambarkan dalam bentuk grafik yang terdiri dari:

- a. Kurva hubungan antara beban dan penurunan,
- b. Kurva hubungan antara beban dan waktu,
- c. Kurva hubungan antara penurunan dan waktu.

Pembebanan dilakukan dengan sistim berulang, pada grafik akan diperoleh dua macam penurunan yaitu:

- 1) Penurunan total ; titik-titik yang menunjukkan penurunan maksimum pada setiap tahap penambahan beban uji dihubungkan satu sama lain, garis yang diperoleh menggambarkan besarnya penurunan total.
- 2) Penurunan elastis ; titik yang menunjukkan penurunan pada setiap pengurangan beban dan dihubungkan satu

sama lain, garis ini menggambarkan besarnya penurunan elastis. Penurunan elastis ini dianggap sebagai selisih antara penurunan total dengan penurunan netto.

Evaluasi pengujian pembebanan berdasarkan beberapa spesifikasi yang ada adalah sebagai berikut:

a) Batas penurunan total

- Batas absolut menurut ASTM, New York City Code dan Holland = 2,54 cm,
- Batas relatif menurut Inggris = 10% diameter pondasi.

Mengamati dari hasil loading test (lihat lampiran), pada grafik beban dengan penurunan didapat bahwa penurunan total yang terjadi dengan beban 500 ton (200% beban rencana) adalah 11,7813 mm.

Penurunan total 1,1781 cm < batas absolut 2,54 cm,

< batas relatif 10% diameter
100 cm = 10 cm.

Dengan hasil penurunan total 1,1781 cm, berarti pondasi tersebut memenuhi spesifikasi batas penurunan total.

b) Batas ratio $\frac{\text{penurunan total}}{\text{beban total}}$

- Batas total ratio menurut Chicago dan California = 0,01 inci/ton

Mengamati dari hasil loading test (lihat lampiran), pada grafik beban dengan penurunan didapat penurunan total yang terjadi 11,7813 mm (0,4639 inci) pada beban total 500 ton (200% beban rencana).



$$\begin{aligned} \text{Batas ratio} &= \frac{0,4638 \text{ inci}}{500 \text{ ton}} \\ &= 9,276 \cdot 10^{-4} \text{ inci/ton} < 0,01 \text{ inci/ton} \end{aligned}$$

Dengan hasil tersebut berarti pondasi memenuhi spesifikasi batas ratio.

Dari hasil hitungan di atas dapat dikatakan bahwa pondasi No. 416 yang diuji beban tekan memenuhi syarat untuk direncanakan menahan beban 250 ton.

4.11. Evaluasi Hasil Daya Dukung Dari Data SPT dengan Hasil Uji Pembebanan (Loading Test)

Perhitungan daya dukung pondasi digunakan formula yang mengambil data tanah dari pengujian boring (SPT). Hitungan daya dukung dari rumus-rumus empiris tersebut ternyata mendapat hasil daya dukung yang berbeda-beda. Karena itu perlu dilakukan suatu test beban yang bisa memberikan keterangan besar daya dukung aktual yang dapat ditahan oleh tiang tersebut. Pada kasus ini kemudian dicoba membandingkan daya dukung yang dihasilkan dari metoda empiris data SPT dengan data loading test. Titik pondasi yang diloaded No. 416, dengan loading tes tipe tekan, kedalaman tiang 45 meter. Untuk mendapatkan hasil perbandingan yang teliti maka diambil titik boring yang diperkirakan berdekatan dengan titik pondasi No. 416 yaitu titik boring No. 7 dan titik boring No. 11. Kemudian untuk menyesuaikan kedalaman tiang fondasi yang ditest, maka daya dukung dari data SPT dihitung sampai kedalaman 45 m juga.

Hitungan daya dukung ultimit dari data SPT menurut metoda Mayerhof (NV Nayak) dan metoda LD Court (lihat persamaan 3.14, 3.16 dan 3.17) pada titik boring No. 7 dan boring No. 11 didapat hasil sebagai berikut:

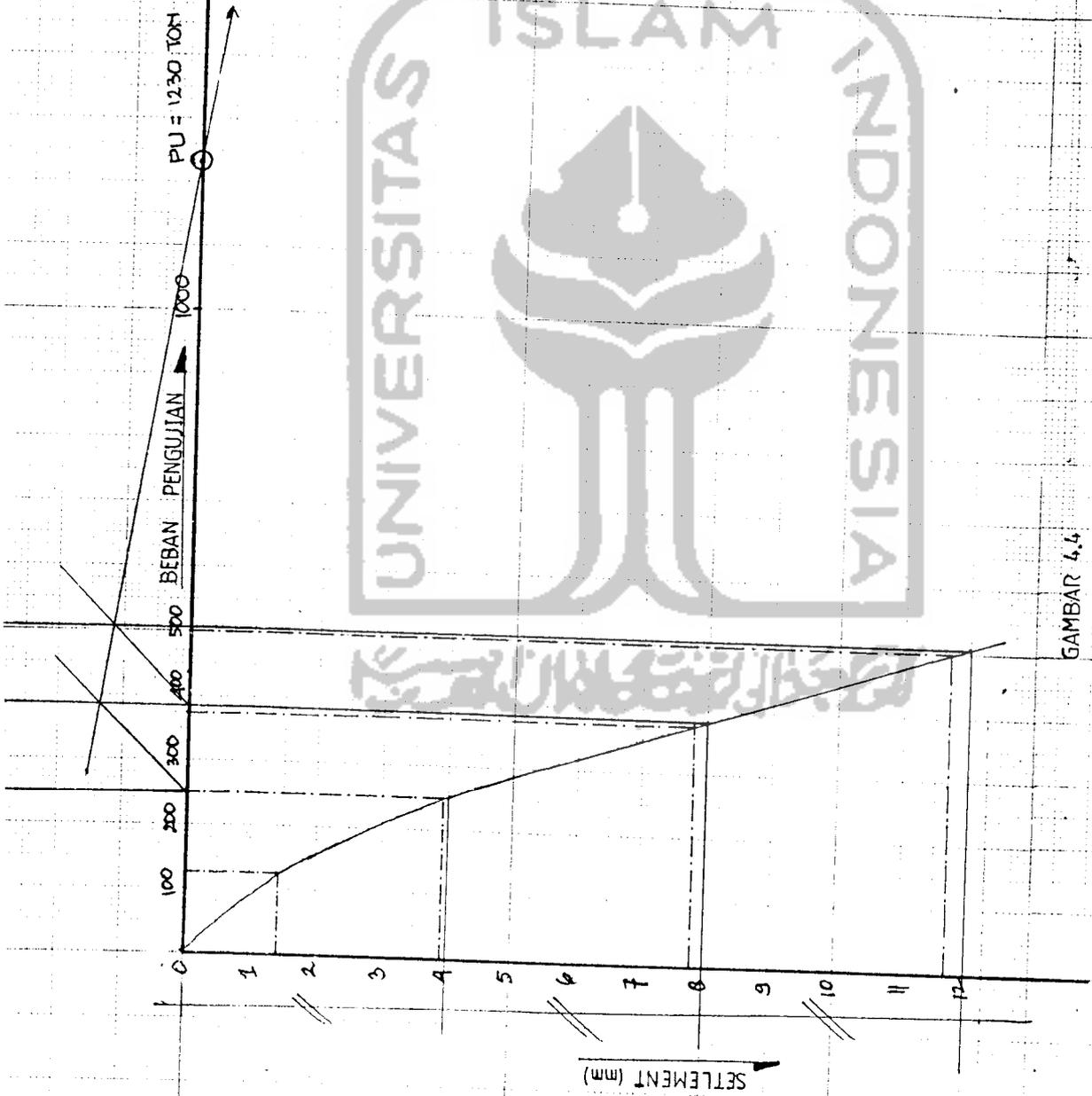
Q	Nayak (T)		LD Cout (T)	
	Bor No. 7	Bor No. 11	Bor No. 7	Bor No. 11
Q _{bu}	863,830	816,712	795,770	900,478
Q _{su}	429,162	453,322	856,641	896,861
Q _{u total}	1292,991	1270,034	1652,417	1797,339

Perhitungan daya dukung ultimit dari data loading test metoda grafis yang dirumuskan oleh Mazurkowicz didapat daya dukung ultimit sebesar 1230 ton lihat gambar IV.5 pada halaman berikutnya.

Apabila daya dukung ultimit dari data SPT dibandingkan terhadap hasil metoda Mazurkowicz didapat hasil sebagai berikut:

- Mazurkowicz (data loading test) = $1230/1230 = 1$
- Mayerhof modifikasi Boring No. 7 = $1292,991/1230 = 1,051$
 NV. Nayak Boring No. 11 = $1270,034/1230 = 1,032$
- LD Court Boring No. 7 = $1652,411/1230 = 1,343$
 Boring no. 11 = $1797,339/1230 = 1,431$
- Tomlinson (Lab) Boring no. 11 = $1464,838/1230 = 1.190$

Dari hasil perbandingan tersebut ternyata metoda Nayak lebih mendekati (optimist) sedangkan metoda LD Court memberikan hasil yang over-optimist.



GAMBAR 4.4
 INTERPRETASI KAPASITAS ULTIMI DARI MAZURKOWICZ (1972)

Dari hasil perbandingan tersebut ternyata metoda Nayak lebih mendekati (optimist) sedangkan metoda LD Court memberikan hasil yang over-optimist.

